

# Wykorzystanie danych satelitarnych i Systemu Informatycznego Lasów Państwowych w badaniach rozmieszczenia przestrzennego i wielkości szkód spowodowanych przez wiatr w drzewostanach wybranych obszarów Polski Północnej

*The use of satellite data and the System of National Forests in the study  
of spatial distribution and assessment of damages caused by wind  
storms in forests of chosen areas of Northern Poland*

**Grzegorz J. KOZIŃSKI**

Uniwersytet Mikołaja Kopernika  
Wydział Nauk o Ziemi  
Katedra Geomatyki i Kartografii  
ul. Lwowska 1, 187-100 Toruń  
[comarek@umk.pl](mailto:comarek@umk.pl)

**Andrzej NIENARTOWICZ**

Uniwersytet Mikołaja Kopernika  
Wydział Biologii i Ochrony Środowiska  
Katedra Geobotaniki i Planowania Krajobrazu  
ul. Lwowska 1, 187-100 Toruń  
[nienart@biol.uni.torun.pl](mailto:nienart@biol.uni.torun.pl)

## Abstract

The study presents the Geographic Information System created to analyse spatial distribution of wind-induced damages in forest stands of the Tuchola Forest, northern Poland, and in the vicinity of Toruń. It was used in several forest complexes mainly on the territory of the following Forest Districts in the Tuchola Forest: Woźniowa, Przymuszewo and Czersk, as well as in the Bory Tucholskie National Park. The following Forest Districts were analyzed in the vicinity of Toruń: Gniewkowo, Golub-Dobrzyń, Dobrzejewice and Toruń. The damages in Tuchola Forest were caused mainly by hurricanes in 26th of December 1999 and 22nd of June 2000. The dates of hurricanes caused the largest damages in the vicinity of Toruń were 17th of July 2001 and 28th of October 2002.

**Key words:** windthrows, timber harvesting, secondary forest, landscape, spatial pattern, remote sensing, GIS, GPS, database, digital elevation model, forest edge.

**Słowa kluczowe:** wiatrolomy, pozyskiwanie drewna, lasy wtórne, krajobraz, wzorzec przestrzenny, teledetekcja, GIS, GPS, baza danych, numeryczny model terenu, brzeg lasu.

*The study presents the Geographic Information System created to analyse spatial distribution of wind-induced damages in forest stands of the Tuchola Forest, northern Poland, and in the vicinity of Toruń. It was used in several forest complexes mainly on the territory of the following Forest Districts in the*

*Tuchola Forest: Woźniowa, Przymuszewo and Czersk, as well as in the Bory Tucholskie National Park. The following Forest Districts were analyzed in the vicinity of Toruń: Gniewkowo, Golub-Dobrzyń, Dobrzejewice and Toruń. The damages in Tuchola Forest were caused mainly by hurricanes in 26th of*

December 1999 and 22nd of June 2000. The dates of hurricanes caused the largest damages in the vicinity of Toruń were 17th of July 2001 and 28th of October 2002.

This work aimed at answering three questions: 1 – Does nearer location of a forest toward field-forest borderline increases the extent of damages? 2 – Does wind-induced damages occur more often and are greater in secondary forests regenerated on formerly arable lands than in forests of which development was not interrupted by temporary soil exploitation for farming purposes after cutting down the trees? 3 – What influence has the geomorphology on the intensity and extent of wind-induced damages? Can anthropogenic changes in orography of terrain connected with road buildings be a factor, which increases probability of wind damages in the forest complex?

In order to define changes in forest and agricultural acreage in the study area, as well as to identify secondary forests, old and contemporary topographic maps were applied together with

forest economic maps, satellite imageries Landsat 7ETM+ from the year 2000 and IKONOS dated 2003. Information coming from those sources as well as from the forest inventory and from the direct field measurements carried out with the GPS receiver was compiled in the Geographic Information System.

The statistical analysis performed in the GIS technology using the programs MicroStation/Bentley, ESRI ArcView3.2 and Idrisi 32 proved that factors like vicinity of large deforested areas as big agricultural areas or big lakes inside forest complex and temporary exploitation of forest soils for farming purposes indeed increase the extent and frequency of damages caused by strong wind in the canopy of forest ecosystems. Changes in orography of area around building site of junction on motorway A1, were a factor which caused appearance of 2-5 ha total treefalls in the adjoining forests. The analyses conducted in GIS and remote sensing technology also indicated that losses in forest area, as well as the canopy of overstory, significantly modify the spatial pattern of the forest landscape.

## Wstęp

W latach 1998–2003 w wielu nadleśnictwach Pomorza i Kujaw notuje się wzrost szkód wywołanych przez wiatr. Na terenie Borów Tucholskich, stanowiących największy kompleks leśny tej części Polski, spore straty w drzewostanach w wyniku działania wiatru wystąpiły w końcu 1999 roku. Były one związane ze skutkami huraganów, które nawiedziły Europę Zachodnią i Centralną 3, 26 i 27 grudnia. Huragany te, w literaturze meteorologicznej i ekologicznej określane jako „Anatol”, „Lothar” i „Martin” (Ulbrich i in. 2001, Wesp 2000, Braun i in. 2003) spowodowały znaczne szkody głównie w lasach na terenie Niemiec. Straty wystąpiły też w lasach Francji, Szwajcarii i Austrii. We wszystkich wymienionych krajach zanotowano też liczne wypadki śmiertelne ludzi oraz straty ekonomiczne rzędu 130 miliardów Euro (Ulbrich i in. 2001). W Borach Tucholskich największe zaburzenia w ekosystemach leśnych w wyniku wystąpienia huraganu „Lothar” zostały zanotowane w północno zachodniej części, m. in. na terenie Nadleśnictwa Przymuszewo, monitorowanego od kilkudziesięciu lat przez ekologów z ośrodka toruńskiego. Były to złomy i wywroty tysięcy pojedynczych drzew, jednakże powalów powierzchniowych, czyli obszarów leśnych, na których powalone zostały niemal wszystkie drzewa, nie zanotowano.

Jeszcze silniejszy huragan wystąpił w Borach Tucholskich pół roku później, tj. 22 czerwca 2000 roku. Następstwem jego działania były nie tylko uszkodzenia pojedynczych drzew, ale również wystąpienie wiatrowalów i wiatrołomów powierzchniowych. Szkody powierzchniowe miały miejsce przede wszystkim w Nadleśnictwach Czersk i Woziwoda wchodzących w skład RDLP Toruń. Znaczne straty w drzewostanach zanotowano też w Nadleśnictwie Kaliska w RDLP Gdańsk.

W następnych latach w Borach Tucholskich złomów i powalów drzew było znacznie mniej. Duże straty w drzewostanach zanotowano natomiast w okolicach Torunia. Szczególnie niszczycielski okazał się huragan

z 17 lipca 2001, który spowodował wystąpienie dużych szkód powierzchniowych w nadleśnictwach Golub-Dobrzyń, Gniewkowo, Dobrzejewice i Toruń. Mniejsze straty spowodowała wichura z 28 października 2002 r.

Ze wstępnej analizy przestrzennego rozmieszczenia szkód wynikało, że lokalizacja wywrotów i złomów koresponduje z rozmieszczeniem lasów wtórnych odtworzonych na gruntach porolnych, które w przeszłości były użytkowane rolniczo. Według Gorzelaka (1999), w lasach na gruntach porolnych niszczycielską działalność wiatru wzmacnia słabo wykształcony system korzeniowy drzew i ich osłabiona przez patogeny zdrowotność. Znaczny wpływ na wystąpienie zaburzeń wywołanych przez wiatr wydawało się mieć także bliskie sąsiedztwo obszarów nieleśnych w postaci większych powierzchni pól uprawnych, łąk i pastwisk, a również dużych jezior śródlęśnych. Częstą przyczyną występowania wiatrołomów powierzchniowych jest też bliskie sąsiedztwo odsłoneń terenu związanych z występowaniem i rozbudową infrastruktury technicznej, np. tras komunikacyjnych.

Celem niniejszej pracy była analiza ilościowa wpływu powyższych czynników na wielkość strat ekologicznych i ekonomicznych na pięciu powierzchniach badawczych: 1 – w pobliżu miejscowości Kruszyn w Nadleśnictwie Przymuszewo, 2 – w dolinach jeziora Trzemeszno i rzeki Brdy w Leśnictwie Okręglik, Nadleśnictwo Czersk, 3 – w Parku Narodowym „Bory Tucholskie” 4 – w pobliżu miejscowości Wielka Komorza w Nadleśnictwie Woziwoda, 5 – na terenie miasta Toruń, w nadleśnictwach Gniewkowo i Dobrzejewice. W analizie rozmieszczenia szkód wywołanych przez wiatr wykorzystano dane z inwentaryzacji powalonych drzew i pozyskanego drewna prowadzonych przez nadleśnictwa, informacje pochodzące z dawnych i współczesnych materiałów kartograficznych oraz pomiarów dokonanych za pomocą odbiornika GPS, a także zastosowano metody teledetekcji satelitarnej i modelowania zjawisk ekologicznych w technologii GIS.

## Teren badań

**Charakterystyka ogólna.** Według podziału fizyczno-geograficznego Polski zaproponowanego przez Kondrackiego (1980), badany obszar należy do czterech makroregionów – Pojezierze Południowo-Pomorskie (314.6/7), Pojezierze Chełmińsko-Dobrzyńskie (315.2), Pradolina Toruńsko-Eberswaldzka (315.3) i Pojezierze Wielkopolskie (315.5) oraz ośmiu mezoregionów – Równina Charzykowska (314.67), Bory Tucholskie (314.71), Dolina Brdy (314.72), Wysoczyzna Świecka (314.73), Pojezierze Chełmińskie (315.21), Dolina Drwęcy (315.23), Kotlina Toruńsko-Bydgoska (315.35) i Równina Inowrocławska (315.55).

Pod względem regionalizacji przyrodniczo-leśnej, której dokonali Trampler i in. (1990), monitorowany obszar należy do III Krainy Wielkopolsko-Pomorskiej oraz pięciu dzielnic w jej obrębie: Borów Tucholskich (III.1), Pojezierza Krajeńskiego (III.2c – mezoregion Dolina Brdy), Pojezierza Chełmińsko-Dobrzyńskiego (III.3a – Wysoczyzna Świecka, III.3c – Wysoczyzna Dobrzyńsko-Chełmińska), Kotliny Toruńsko-Płockiej (III.5), Niziny Wielkopolsko-Kujawskiej (III.7b – Pojezierze Wielkopolskie). Dwie dość jednorodne pod względem pokrycia roślinnością dzielnice III.1 i III.5 porastają trzy następujące kompleksy leśne: Bory Tucholskie, Puszcza Bydgoska oraz Lasy Gostynińsko-Włocławskie. Obserwacje prowadzono w dwóch pierwszych.

Bory Tucholskie to rozległy obszar zlokalizowany na zachód od Dolnej Wisły, w dorzeczu dwóch jej większych dopływów Brdy i Wdy. Powierzchnia tego subregionu wynosi około 5 000 km<sup>2</sup>, co stanowi około 1,6% terytorium Polski. Charakteryzuje się on znacznym bogactwem form geomorfologicznych, których geneza wiąże się z okresem zlodowacenia bałtyckiego. Dominującą formą geomorfologiczną jest rozległa równina sandrowa na przedpolu moren czołowych stadium pomorskiego tego okresu zlodowacenia. Powierzchnia równiny sandrowej rozcięta jest rynnami polodowcowymi, które wypełnione są licznymi jeziorami i rzekami. Główną formacją roślinną na glebach wytworzonych tu głównie z ubogich piaszków są bory sosnowe świeże i suche. W systemie klasyfikacji syntaksonomicznej są one zaliczane do zespołów *Leucobryo-Pinetum*, *Peucedano-Pinetum* i *Cladonio-Pinetum*. Mniejsze powierzchnie zajmują inne typy borów: bór wrzosowy *Calluno-Pinetum*, bór wilgotny *Molinio-Pinetum* i występujący na glebach organogenicznych bór bagienny *Vaccinio uliginosi-Pinetum*. W przeszłości większy udział w drzewostanach miały gatunki liściaste. Liczniej występowały lasy dębowo-grabowe, dębowe i bukowe, lecz trwająca od wielu stuleci antropopresja spowodowała, że zostały one zamienione na tereny rolne i wrzosowiska lub zastąpione przez monokultury sosnowe. Największe zmiany w charakterze drzewostanu nastąpiły na przełomie XIX i XX wieku, kiedy to przeźrebione powierzchnie leśne i zdegradowane gleby orne pruska administracja leśna obsadzała masowo sosną. Zalesiano również wrzosowiska, odłogi, zdegradowane pastwiska i nieużytki. Dalszy wzrost powierzchni leśnej

nastąpił po 1920 roku, gdy większa część regionu Borów Tucholskich została włączona do odrodzonego państwa polskiego. Następny okres zalesiania byłych terenów rolniczych i nieużytków nastąpił po II wojnie światowej, kiedy to w ramach tzw. reformy rolnej rozparcelowano i obsadzono sosną wiele majątków ziemskich. Zalesienia byłych gleb rolniczych mają miejsce i dziś, ponieważ nieopłacalność gospodarki rolnej na małych poletkach śródlęśnych powoduje, że ich użytkownicy zrzekają się dzierżawy od lasów państwowych. Na powierzchniach tych, po kilkuletnim odłogowaniu, odtwarzane są zbiorowiska leśne (Kunz in. 2000, Nienartowicz i in. 2002).

Obecnie lesistość w mezoregionach Równina Charzykowska i Bory Tucholskie kształtuje się na poziomie 50%, z czego drzewostany sosnowe stanowią bezwzględnie większość, pozostawiając populacjom drzew liściastych niewielką część (Boinski 1999).

Mimo znacznych przekształceń szata roślinna Borów Tucholskich zawiera liczne osobliwości florystyczne i syntaksonomiczne, głównie wśród zbiorowisk leśnych, torfowiskowych i wodnych. Dla ich ochrony powołano wiele rezerwatów przyrody, jeden park narodowy oraz cztery parki krajobrazowe: Wdecki, Wdzydzki, Zaborski i Tucholski oraz Rezerwat Biosfery Bory Tucholskie w 2010 r.

Drugi kompleks leśny – Puszcza Bydgoska – zlokalizowany jest w Kotlinie Toruńsko-Płockiej. Na piaszczystych tarasach pradoliny Wisły wytworzyły się tu u schyłku ostatniego glacjału duże pola wydmowe, porośnięte dziś borami sosnowymi, głównie świeżymi, należącymi do zespołu *Peucedano-Pinetum*. Przeważają drzewostany III i IV klasy wieku. Na stan zbiorowisk leśnych duży wpływ mają zlokalizowane w kotlinie dwa miasta Bydgoszcz i Toruń. Ostatnio czynnikiem ekologicznym wpływającym istotnie na zbiorowiska leśne tego obszaru (poza wiatrem oraz skażeniami atmosfery z obszarów zurbanizowanych i przemysłowych) stał się również ogień. W miejscach, gdzie w wyniku gospodarczej działalności człowieka zbiorowiska leśne zostały wyparte, uformowały się wrzosowiska i pionierska roślinność wydmowa.

**Charakterystyka stanowisk badawczych.** Zmienność przestrzenną wielkości szkód spowodowanych przez huraganowe wiatry oceniono na całym obszarze Borów Tucholskich, na terenie 22 nadleśnictw, które chociaż częściowo znajdują się w obrębie dzielnicy Bory Tucholskie w ujęciu Trampler i in. (1990) lub też wchodzących w skład ustanowionego Rezerwatu Biosfery „Bory Tucholskie”. Pod względem organizacyjnym należały one do trzech następujących Regionalnych Dyrekcji Lasów Państwowych (RDLP): Gdańsk (Lipusz, Kościerzyna, Kaliska, Lubichowo), Szczecinek (Bytów, Osusznica, Miastko, Bobolice, Niedźwiady, Człuchów, Czarne Człuchowskie, Szczecinek) i Toruń (Dąbrowa, Osie, Trzebciny, Tuchola, Woziwoda, Rytel, Czersk, Przymuszewo, Zamrzenica i Różanna). Badaniami objęto też teren Parku Narodowego „Bory Tucholskie”. Dla porównania rozmiarów szkód i dokładniejszego określenia roli

czynników zwiększających prawdopodobieństwo ich wystąpienia, obserwacje prowadzono również w rejonie Torunia w nadleśnictwach: Golub-Dobrzyń, Dobrzejewice, Gniewkowo i Toruń.

Szczegółowe badania ilościowe przeprowadzono na pięciu stanowiskach.

**Pierwsze stanowisko** badawcze to kompleks lasu w pobliżu miejscowości Kruszyń oraz jezior Kruszyńskiego i Somińskiego w Nadleśnictwie Przymuszewo. Według dawnej pruskiej mapy topograficznej jeszcze w 1874 r. teren ten był znacznie odlesiony. Duże powierzchnie nieleśne występowały jeszcze kilkadziesiąt lat po utworzeniu tu w 1890 r. pruskiego „Königforsterei Zwangshof”. Zwłaszcza obniżenie terenu ciągnące się od jeziora Kruszyńskiego w kierunku południowo-zachodnim długo stanowiło obszar użytkowany rolniczo. Zapewne cały omawiany teren w pobliżu Kruszyń został odlesiony w XVII lub XVIII stuleciu, ponieważ według „Lustracji województwa pomorskiego 1565” (Hoszowski 1961) w drugiej połowie XVI wieku na tym terenie występowały rozległe lasy bukowe. Dziś dominują bory świeże i suche, stanowiące często pierwsze pokolenie lasu na byłych wrzosowiskach, ubogich pastwiskach użytkowanych pod wypas owiec i bydła oraz na polach uprawnych i odłogach. W wielu miejscach – zwłaszcza we fragmentach najdłużej pozostających w uprawie rolnej, a później porastających lasami stanowiącymi własność prywatną – drzewostan sosnowy charakteryzuje się niskim zwarcim. W runie bujnie rozwija się wrzos, dając podstawę do wyróżnienia zespołu *Calluno-Pinetum*.

**Drugie stanowisko** badawcze znajduje się w zwarłym kompleksie leśnym na terenie Leśnictwa Okręglik w Nadleśnictwie Czersk. Badany obszar zlokalizowany jest na wschód od Parku Narodowego „Bory Tucholskie” i na wschód od szosy Chojnice–Brusy–Kościerzyna. Obserwacjami objęto tu lasy zlokalizowane w obrębie rynny pojeziernej, stanowiącej naturalne przedłużenie ciągu jezior Dybrz–Kosobudno–Trzemeszno. Miejscem pomiarów była dość rozległa dolina rzeczna, którą wykorzystuje Brda po wypłynięciu z jeziora Kosobudno. W rynnach tych, podobnie jak i na wysoczyznach, dominują bory świeże, należące najczęściej do średnich klas wieku. Obniżenia terenu zlokalizowane nad zbiornikami wodnymi porastają drzewostany z *Alnus glutinosa*.

**Trzecie stanowisko** to utworzony w 1996 roku Park Narodowy „Bory Tucholskie”. Zlokalizowany jest on po wschodniej stronie jeziora Charzykowskiego. Akwen należy do największych polskich jezior. Na 4 783 ha powierzchni parku w strukturze pokrycia terenu zdecydowanie dominują zbiorowiska leśne (83%). Zbiorniki wodne, zajmujące drugie miejsce na tej liście, stanowią 13% powierzchni parku. Z analizy historycznych map topograficznych wynika, że teren parku narodowego w przeszłości był przeważnie zalesiony. Niewielkie wylesienia spowodowane gospodarczą działalnością człowieka występowały jedynie po północnej stronie ciągu jezior przepływowych, tzw. „Strugi Siedmiu Jezior”. Na analizowanym obszarze jeszcze przed ustanowieniem

parku narodowego ograniczono wyřęby lasu. Z tego powodu w dzisiejszej strukturze drzewostanów znaczną rolę odgrywają wyższe klasy wieku. Zdecydowanym dominantem wśród gatunków drzew jest sosna zwyczajna. Najstarsze i najdorodniejsze drzewostany sosnowe występują w środkowej części parku narodowego, w pobliżu jezior Gacno Małe, Gacno Wielkie oraz po zachodniej stronie jeziora Ostrowite. Drzewostany sosnowe porastają tu dość wyraźne wyniesienia terenu.

**Stanowisko czwarte** to brzeżne fragmenty lasów na granicy z polami uprawnymi i łąkami w Leśnictwie Komorza (Nadleśnictwo Woziwoda). Fragment lasu badany pod względem rozmieszczenia przestrzennego szkód spowodowanych działalnością wiatru leży w otulinie Tucholskiego Parku Krajobrazowego. Jest on położony na północny-wschód od miasta Tuchola, po obu stronach drogi krajowej nr 237 prowadzącej z Tucholi do Czerska. Las graniczy tu z rozległym obszarem rolniczym, który do II wojny światowej należał do majątku Wielka Komorza rodziny Pałczyńskich. Analizowany obiekt to pas lasu ciągnący się od granicy polno-leśnej na odległość około 2 km w głąb kompleksu leśnego. Przebiega łukiem od wsi Raciąż w kierunku północno-zachodnim poprzez okolice wsi Wielka Komorza w okolice miasta Tuchola. Znaczną część tego pasa stanowią lasy wtórne na gruntach porolnych. Miejscami, niemal równolegle do granicy polno-leśnej, w kierunku z północno-zachodniego na południowy-wschód płynie Brda, która w przeszłości była rzeką graniczną pomiędzy kompleksem leśnym a obszarem rolniczym. Po II wojnie światowej zalesiono jednak teren na jej prawym brzegu. Spowodowało to, że granica polno-leśna przesunęła się kilkaset metrów na zachód.

**Stanowisko piąte** obejmuje kompleks lasu położonego, przy południowej granicy miasta Toruń, na lewym brzegu Wisły, przy połączeniu wybudowanego 11 km odcinka autostrady A1 (wraz z przeprawą mostową przez Wisłę) z istniejącą szosą nr 1 (Gdańsk-Toruń-Łódź-Cieszyn). W miejscu budowy pętli dojazdowych i połączenia obu tras przeprowadzono dość znaczne roboty ziemne, polegające na częściowym usunięciu niewielkiego wzniesienia i zniwelowaniu terenu. Drogę dojazdową poprowadzono w wykopie. Spowodowało to odsłonięcie ściany lasu po wschodniej stronie szosy nr 91.

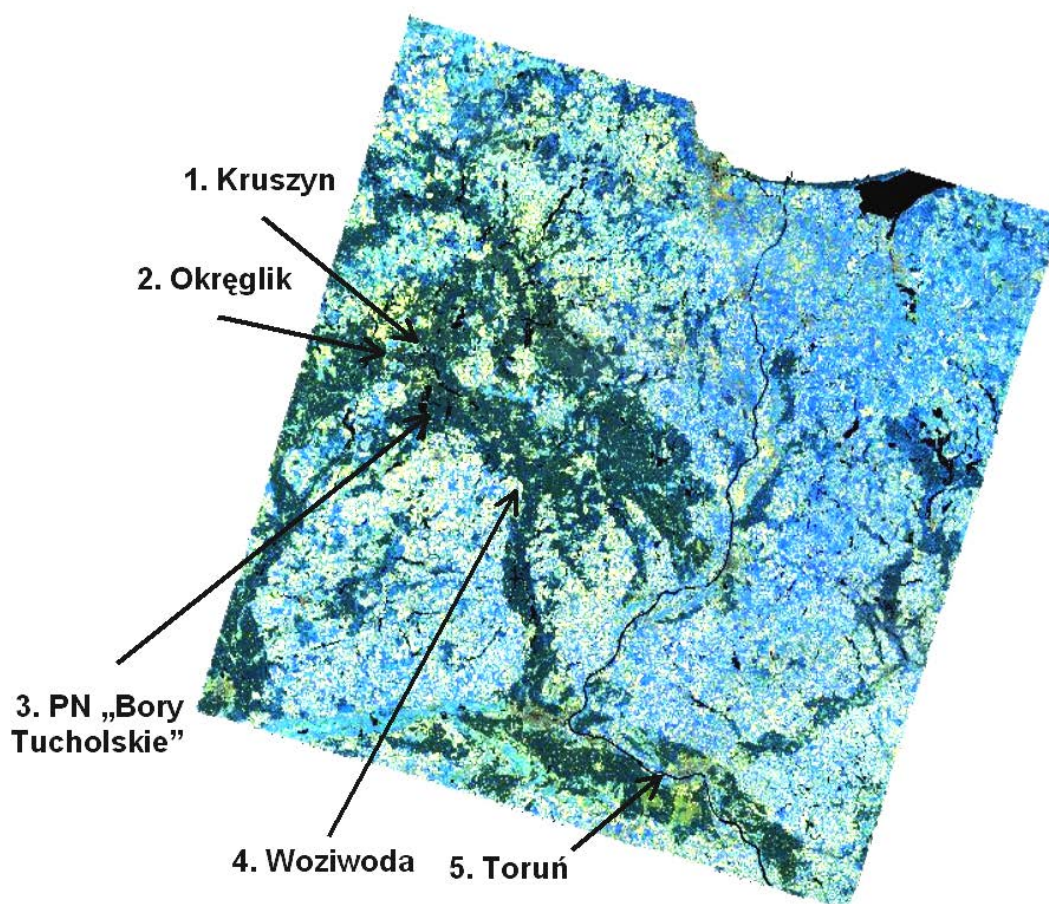
W ramach niniejszego opracowania analizowano też rejon skrzyżowania wybudowanego odcinka autostrady z szosą nr 10 (Szczecin-Toruń-Warszawa) w prawobrzeżnej części Torunia, gdzie również zanotowano wiatrołomy powierzchniowe.

Rozmieszczenie pięciu stanowisk na zdjęciu satelitarzym Landsat 7ETM+ z 5 maja 2000 roku przedstawia Ryc. 1.

## Metody

Pracę realizowano w oparciu o system informacji geograficznej Pomorza Gdańskiego i Kujaw. Podstawę systemu stanowi siatka współrzędnych prostokątnych





Ryc. 1. Rozmieszczenie powierzchni badawczych na zdjęciu satelitarnym obszaru Pomorza Gdańskiego (Landsat 7ETM+ z 5 maja 2000 r.).

Fig. 1. Locality of sample plots on satellite image of Gdańsk Pomerania (Landsat 7ETM+ on 5th of May 2000).

w układzie 1965. W pola siatki wpasowane zostały po zeskanowaniu arkusze map topograficznych w skali 1 : 25000. Mapy za pomocą programu MicroStation 95 z nakładką Descartes. Na mapy topograficzne nałożono, w procesie rektyfikacji geometrycznej, aktualne leśne mapy gospodarcze w skali 1 : 20000. Warstwy informacji stanowiły też historyczne mapy topograficzne oraz leśne mapy gospodarcze z XIX i początków XX wieku. Ponadto, do układu współrzędnych map dołączono zdjęcie satelitarne Landsat 7 ETM+ z 2000 roku, jako rastrową warstwę danych o badanym terenie. Dla określenia rozmieszczenia przestrzennego lasów wtórnych na byłych glebach rolniczych oraz miejsc, gdzie las stałe występował w ostatnich kilku stuleciach, na bazie zdjęcia satelitarnego sporządzono mapę zmienności przestrzennej znormalizowanego wskaźnika roślinności – NDVI. Wartości NDVI obliczono wg wzoru:

$$NDVI = [IR - RED] / [IR + RED],$$

gdzie RED i IR oznaczają odpowiedź spektralną poszczególnych pikseli zobrazowania badanej powierzchni uzyskaną skanerem Thematic Mapper dla kanału 3 (RED, 630-690 nm) i kanału 4 (IR, 760-900 nm).

W technologii GIS określono relacje przestrzenne pomiędzy rozmieszczeniem barw zastosowanych na mapie zmienności przestrzennej NDVI, a poligonami wtórnych

lasów porolnych na współczesnych i historycznych mapach topograficznych oraz na leśnych mapach gospodarczych.

Na tak przygotowanych warstwach rastrowych zdigitalizowano aktualne oddziały i pododdziały leśne w programie ArcGIS 8.0. Rozmieszczenie szkód spowodowanych przez wiatr na powierzchni badawczej kartowano za pomocą odbiornika GPS. Współrzędne położenia wykrotów i złomów zaimportowano do projektu za pomocą modułu XYZ w programie Microstation J/Polish. W przypadku szkód powierzchniowych połączono punkty na granicy wylesień w poligony.

Do przygotowanej warstwy wektorowej podłączono bazę danych dla okresu 1998-2002 pochodzącą z Systemu Informacji Lasów Państwowych, pozyskaną w nadleśnictwach, na których terenie prowadzono badania szczegółowe. Informacje o rozmieszczeniu powalów i ilości usuniętego drewna pozyskano też w Dyrekcji Parku Narodowego „Bory Tucholskie”. Baza zawierała informację o adresie leśnym (nr oddziału i pododdziału), typie siedliskowym lasu, bonitacji drzewostanu, typie szkody, objętości pozyskanego drewna w m<sup>3</sup> i datę jego pozyskania, informację o typie gleby (porolna, leśna), stopniu zadrzewienia, nazwę gatunku głównego w warstwie drzew oraz o jego wieku i udziale ilościowym.

Dla stanowiska 1, tj. Leśnictwa Komorza, przy pomocy modułu tworzenia poligonów programu ArcView 3.2

utworzono warstwę buforową zawierającą 86 stref w interwale co 10 m. Dla celów obliczeniowych sumy szkód w m<sup>3</sup>/ha przedstawiono w buforach co 100 m. Strefy te były rozmieszczone od granicy polno-leśnej, wyznaczonej na podstawie zdigitalizowanych uprzednio oddziałów i pododdziałów leśnych, w głąb badanego kompleksu leśnego. Następnie scalono metodą „łączenia tematów” warstwę buforową z warstwą zdigitalizowanych pododdziałów leśnych, wykorzystując ich środki ciężkości. Do tego łączenia zostało zastosowane rozszerzenie ArcGIS 8.0. Spatial Analyst.

Z tabel uzyskanych z połączenia obu zbiorów danych wyselekcjonowano informacje dotyczące objętości pozyskanego drewna dla danego pododdziału leśnego, jego powierzchnię i położenie w określonej strefie buforowej, tj. interwale odległości od granicy polno-leśnej. Wielkość szkód wywołanych przez wiatr w m<sup>3</sup> podzielono przez powierzchnię pododdziału leśnego. Obliczone wielkości szkód zsumowano dla każdej strefy buforowej oddzielnie. Z wyprodukowanej tabeli zawierającej dwa wektory liczb: objętość pozyskanego drewna w m<sup>3</sup> na ha i odległości 86 stref buforowych od granicy polno-leśnej w metrach, obliczono współczynnik korelacji oraz określono funkcję wyrażającą zależność pomiędzy tymi parametrami. W obliczeniach wykorzystano komputerowe programy statystyczne.

W przypadku poligonu badawczego Park Narodowy „Bory Tucholskie” rozmieszczenie powalów i złomów, określone za pomocą odbiornika GPS, naniesiono na mapę numeryczną tego obiektu przyrodniczego. Na utworzoną warstwę informacji nałożono zdjęcie satelitarne IKONOS z sierpnia 2003 roku, wykonane z rozdzielczością terenową 4 m w modzie multispektralnym i 1 m w modzie panchromatycznym. Dokonano porównań mozaikowatości obrazu koron drzew z obszaru parku narodowego z terenem położonym poza parkiem po zachodniej stronie jeziora Charzykowskiego, gdzie szkody od wiatru w rozpatrywanym okresie były niewielkie.

Dla stanowiska 2, którym było Leśnictwo Okręglik, sporządzono numeryczny model wysokości terenu. Na trójwymiarowy obraz badanego obszaru naniesiono według odczytów GPS położenie zarówno złomów i powalów pojedynczych drzew, jak też obserwowane szkody powierzchniowe. Oceniono relacje pomiędzy występowaniem zaburzeń w strukturze drzewostanów wywołane oddziaływaniem wiatru a lokalizacją głównych elementów rzeźby terenu, zwłaszcza przebiegiem dolin rzecznych i rynien jeziornych.

Dane o rozmieszczeniu i wielkości szkód na terenach zlokalizowanych poza pięcioma poligonami badawczymi wybranymi do przeprowadzenia analiz szczegółowych, pozyskano poprzez rozesłanie ankiet do poszczególnych nadleśnictw.

## Wyniki

**Zmienność czasowa i przestrzenna szkód na obszarze Borów Tucholskich.** Na podstawie da-

nych nadesłanych przez nadleśnictwa stwierdzono, że w latach 1998-2002 pozyskanie drewna ze złomów i wykrotów na obszarze Borów Tucholskich wynosiło 601 915,23 m<sup>3</sup>. Z tego 57,80% stanowiło drewno usunięte w 2000 r. Na tak wysoką wartość złożyły się szkody usuwane w pierwszej połowie roku 2000, a stanowiące efekt działalności wspomnianych huraganów z końca 1999 r., oraz szkody usuwane w drugiej połowie tego samego roku gospodarczego, będące następstwem wichury z dnia 22 czerwca 2000 r.

W sumie, w 2000 r. pozyskanie drewna z wywrotów i złomów w nadleśnictwach należących do dzielnicy Borów Tucholskich wyniosło 347 931,74 m<sup>3</sup>. W tym, w części podległej RDLP Szczecinek pozyskano 156 624,52 m<sup>3</sup>, w nadleśnictwach RDLP Toruń i w Parku Narodowym „Bory Tucholskie” łącznie 109 720,56 m<sup>3</sup>, w RDLP Gdańsk: 81 586,66 m<sup>3</sup>. Wymienione wartości wskazują, że największe szkody w 2000 r. wystąpiły w północno-zachodniej części dzielnicy Bory Tucholskie. Suma drewna z wykrotów i złomów pozyskanego w ośmiu nadleśnictwach RDLP Szczecinek stanowiła bowiem 45,02% strat zanotowanych w całym regionie. Na pozostałe 54,98% strat składało się drewno usunięte z terenu 14 nadleśnictw z RDLP Gdańsk i Toruń oraz z obszaru parku narodowego.

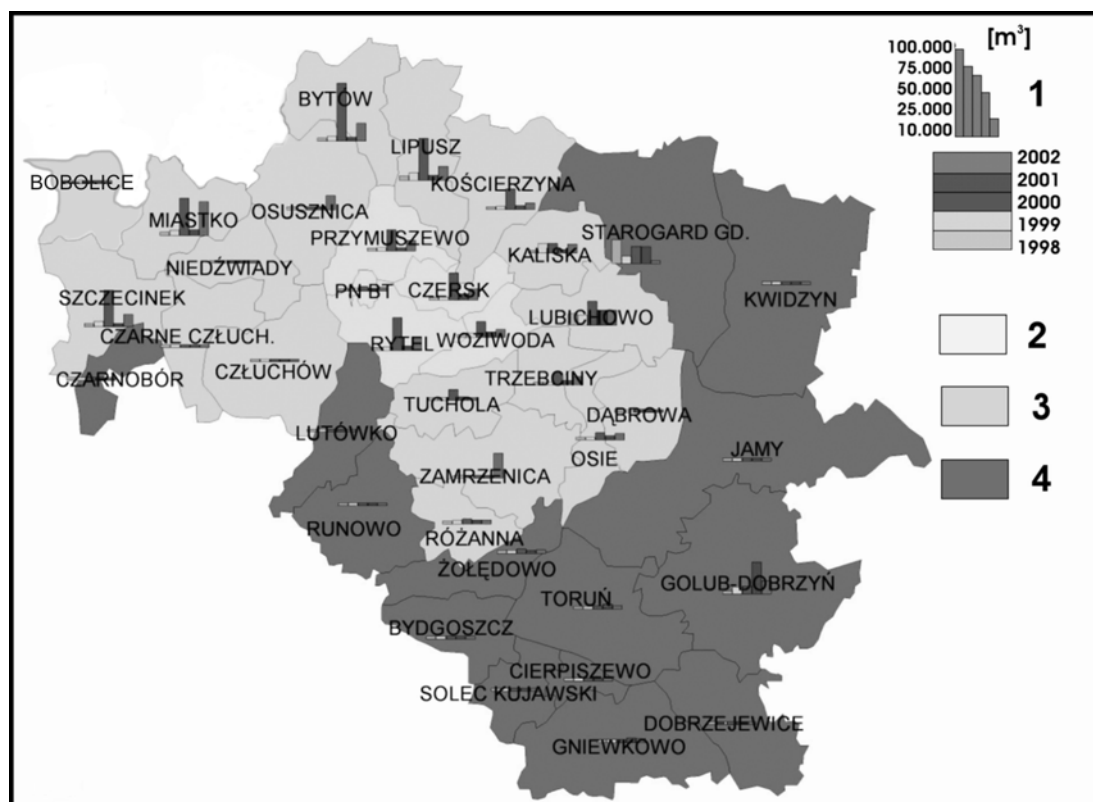
W dzielnicy przyrodniczo-leśnej Bory Tucholskie dość duże straty spowodowane czynnikiem wiatru wystąpiły też w 2002 roku, jednakże w całym badanym regionie pozyskanie drewna z wykrotów i złomów w tym okresie stanowiło tylko 49,73% wielkości zanotowanej na tym samym obszarze w wyjątkowo wysokim pod względem strat roku 2000.

Analizując wielkość szkód według nadleśnictw stwierdzono, że w roku 2000 najwyższe wartości (52 819,00 m<sup>3</sup>) zanotowano w Nadleśnictwie Bytów. Duże ilości drewna powalonego przez wiatr usunięto też w nadleśnictwach Lipusz (37 535,31 m<sup>3</sup>), Miastko (33 092,30 m<sup>3</sup>), Szczecinek (32 205,73 m<sup>3</sup>), Rytel (29 145,59 m<sup>3</sup>) i Czersk (23 482,40 m<sup>3</sup>). Średnie pozyskanie drewna z powalów i złomów w przeliczeniu na jedno nadleśnictwo w 2000 r. wynosiło 15 815 m<sup>3</sup> (dla porównania: 1 363,85 m<sup>3</sup> w 1998 r. oraz 1 727,26 m<sup>3</sup> drewna w 2001 r.). Najbliższą średniej ilość drewna z wywrotów i złomów w 2000 r. pozyskano w nadleśnictwach Woziwoda i Przymuszewo (12 887,12 m<sup>3</sup> i 17 856,70 m<sup>3</sup>).

Z zamieszczonych danych wynika, że dwa spośród czterech poligonów badawczych wybranych w Borach Tucholskich, tj. Kruszyn i Wielka Komorza, położone są w jednostkach gospodarczych lasów państwowych, w których szkody wywołane niszczycielską siłą wiatru były najbardziej zbliżone do wartości średnich.

Wielkość szkód według nadleśnictw przedstawiono na Ryc. 2.

**Wielkość strat w nadleśnictwach w rejonie Torunia.** Na stanowisku 5 największe szkody związane z oddziaływaniem wiatru zanotowano w lipcu 2001 r. Spośród działających tu jednostek gospodarczych Lasów Państwowych największe straty wystąpiły w nad-



Ryc. 2. Występowanie i wielkość szkód wiatrowych mierzona ilością pozyskanego drewna na obszarze Borów Tucholskich i terenach sąsiednich w latach 1998-2002 (1 – pozyskanie drewna w  $m^3$ /rok w kolejnych latach, 2 – wybrane nadleśnictwa z poligonami badawczymi dla obserwacji szczegółowych, 3 – inne nadleśnictwa z obszaru Borów Tucholskich, 4 – inne nadleśnictwa poza obszarem Borów Tucholskich).

Fig. 2. Wind damages measured by volume of logged timber in Tuchola Forest, 1998–2002 (1 – logged timber in  $m^3$ /year in the following years, 2 – selected forestry inspectorates, 3 – forestry inspectorates within Tuchola Forest, 4 – another forestry inspectorates in outside Tuchola Forest).

leśnictwach Golub-Dobrzyń i Gniewkowo. W pierwszej jednostce gospodarczej w całym 2001 roku pozyskano 27 710  $m^3$  drewna z wykrotów i złomów. W pozostałych latach pięciolecia 1998-2002 straty były znacznie mniejsze (Ryc. 2). Na terenie Nadleśnictwa Golub-Dobrzyń szkody od wiatru w latach 1998-2002 oceniono na 36 944  $m^3$ . W Nadleśnictwie Gniewkowo największe szkody w drzewostanach wywołały huragany z 17 lipca 2001 r. i 28 października 2002 r. Po pierwszym z nich usunięto 1 677  $m^3$  drewna, po drugim 1 409  $m^3$ . Huragan z lipca 2001 r. spowodował konieczność przeprowadzenia w całym Nadleśnictwie Gniewkowo 49 zrębów sanitarnych na łącznej powierzchni 61,24 ha. Powierzchnia poszczególnych zrębów wynosiła od 0,21 do 5,04 ha. Największa powierzchnia powalów całkowitych zlokalizowana była w oddziale 68h w pobliżu skrzyżowania autostrady A1 z szosą nr 91.

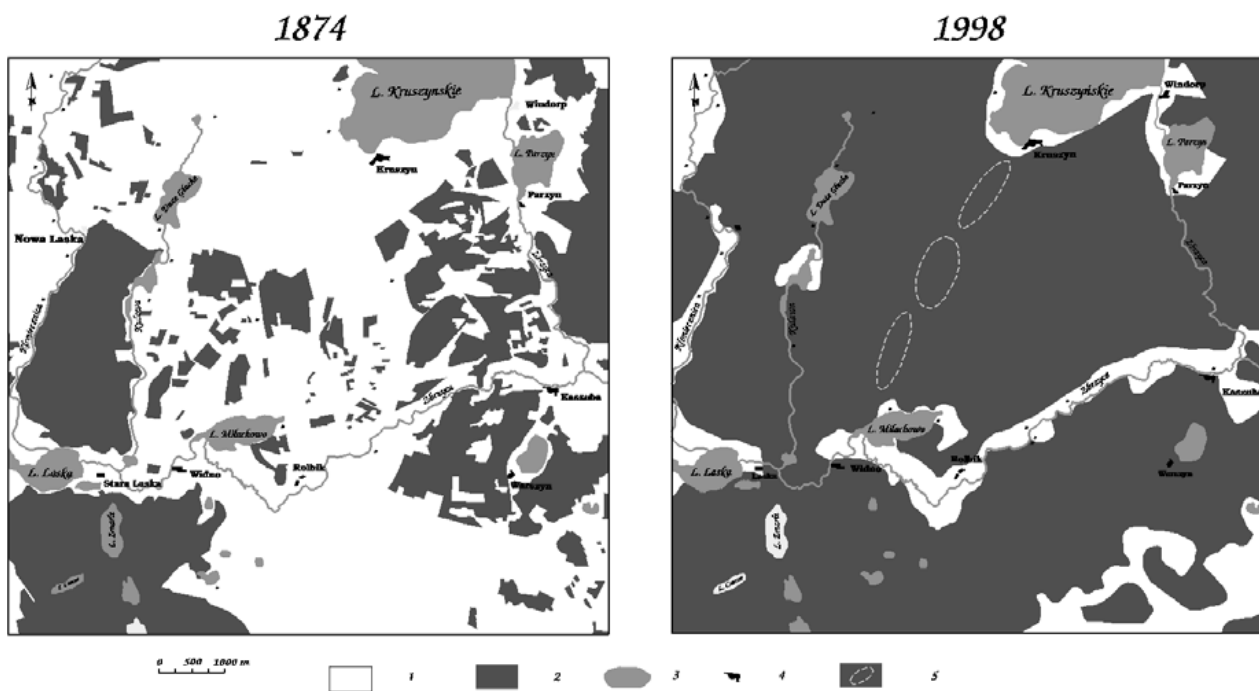
W nadleśnictwie Toruń straty w drzewostanach spowodowane wichurą kształtowały się na podobnym poziomie jak w Nadleśnictwie Gniewkowo. W 2001 r. wynosiły one 2 172  $m^3$  drewna.

**Wpływ dawnego użytkowania terenu na rozmieszczenie przestrzenne szkód.** Analiza rozmieszczenia powalonych drzew na stanowisku Kruszyn wskazuje, że szkody wyrządzone przez wiatr rzeczywiście

zdarzają się częściej w lasach wtórnie odtworzonych na gruntach rolnych, niż w ekosystemach leśnych, których rozwój nie był przerwany czasowym użytkowaniem rolniczym gleby. Zmiany zasięgu lasów oraz rozmieszczenie wiatrołomów (głównie z 26 grudnia 1999 r.) na omawianym terenie przedstawia Ryc. 3. Wynika z niego, że oprócz historii użytkowania wpływ na występowanie szkód ma też rzeźba terenu. Najwięcej powalów wystąpiło bowiem w obniżeniu terenu ciągnącym się od jeziora Kruszyńskiego w kierunku południowo-zachodnim. Znaczący wpływ miało też niewątpliwie bliskie sąsiedztwo otwartej przestrzeni, którą stanowiły tafle obu dużych jezior i kompleks łąk w ich otoczeniu.

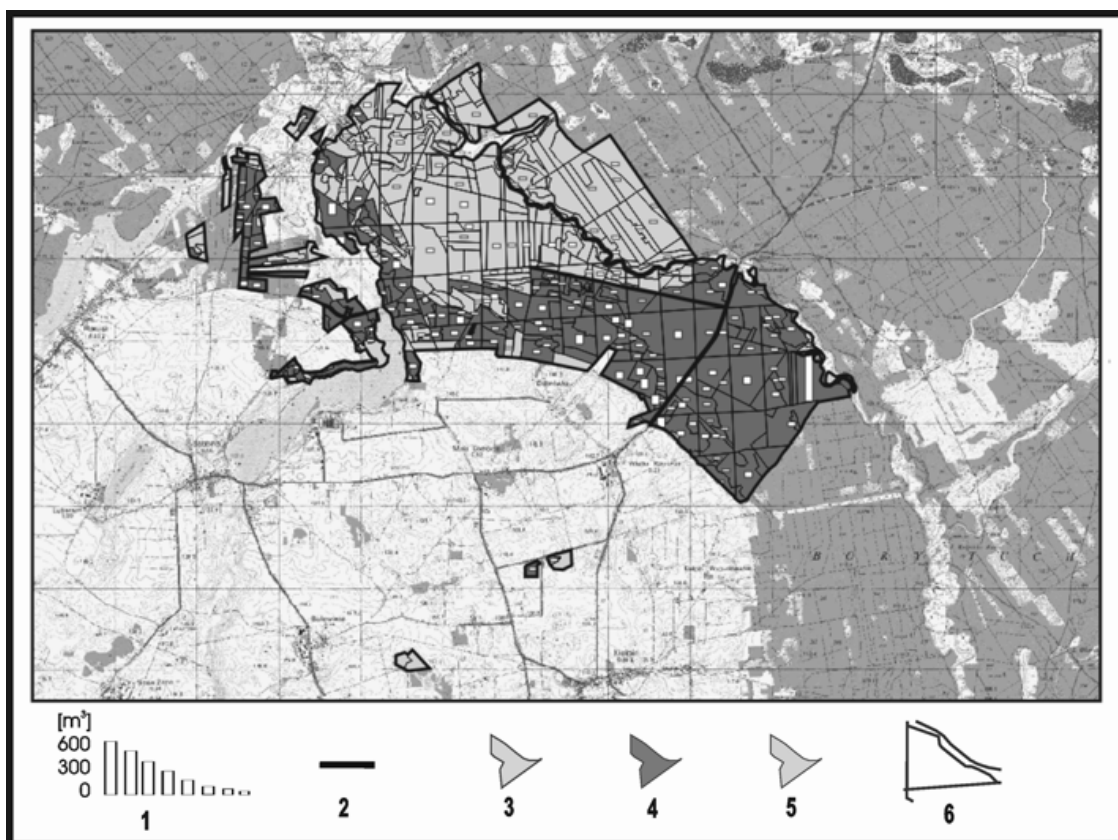
Stanowisko badawcze w Leśnictwie Komorza przedstawia Ryc. 4. Suma powierzchni pododdziałów leśnych stanowiących powierzchnię badawczą wyniosła 1683,06 ha. Na podstawie analizy danych pochodzących z historycznych inwentaryzacji leśnych, starych map topograficznych i leśnych map gospodarczych oraz zdjęcia satelitarnego z 2000 roku ustalono, że wtórne lasy porolne występowały na 50,77 % powierzchni badawczej. Pozostała część, czyli 49,23 % stanowiły lasy na glebach nie użytkowanych w przeszłości rolniczo. Powierzchnia terenów o odmiennym sposobie użytkowania w przeszłości była więc niemal identyczna.





Ryc. 3. Zasięg lasów w okolicach Kruszyńa w 1874 i 1998 r. oraz miejsca występowania szkód od wiatru (1 – wrzosowiska, pastwiska, grunty orne, 2 – lasy, 3 – jeziora, 4 osady, 5 – powierzchnie ze szkodami od wiatru z 26 grudnia 1999).

Fig. 3. Distribution of forests in the vicinity of Kruszyń in 1874 and 1998 and location of wind damages (1 – heathlands, pastures and arable lands, 2 – forests, 3 – lakes, 4 – settlements, 5 – areas with wind damages on 26th December 1999).

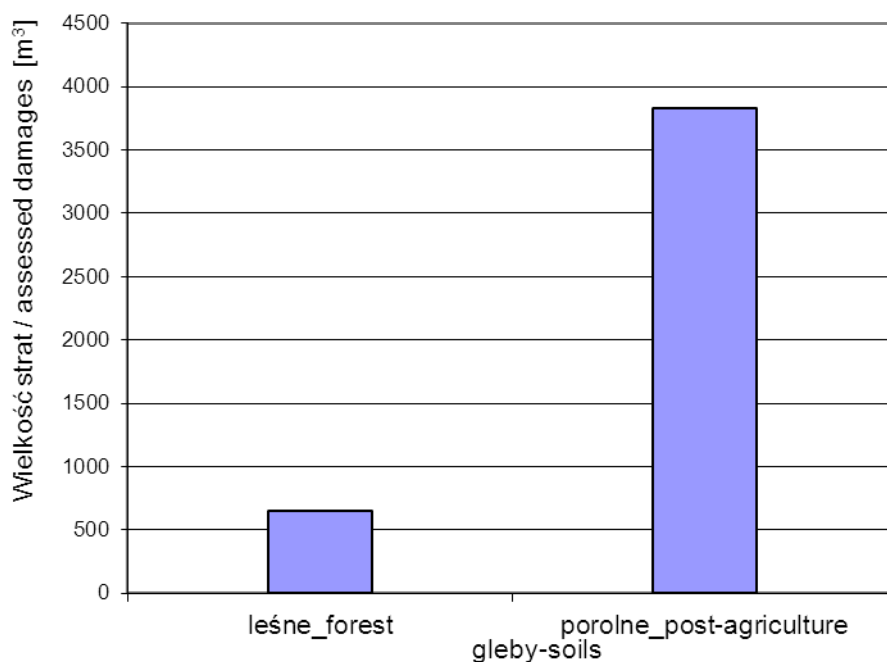


Ryc. 4. Rozmieszczenie przestrzenne lasów wtórnych na gruntach porolnych oraz lasów na glebach leśnych, podział powierzchni badawczej na pododdziały leśne oraz wielkość pozyskanego drewna z wiatrolomów w poszczególnych pododdziałach na powierzchni badawczej Wielka Komorza (1 – objętość powalonego drewna, 2 – granica powierzchni badawczej, 3 – grunty leśne, 4- grunty porolne, 5 – powierzchnia bez danych ilościowych, 6 – granice pododdziałów leśnych).

Fig. 4. Spatial distribution of secondary forests on post-agricultural soils and on forest soils, division of forest subsections and volume of logged timber in several subsections in sample area Wielka Komorza (1 – woods volume of wind damage, 2- boundary of study area, 3 – forest soils, 4 – post-agriculture soils, 5 – area without quantitative data, 6 – boundary of forest subsections).



Ryc. 5. Porównanie strat w lasach na glebach porolnych i leśnych na powierzchni badawczej Wielka Komorza.  
 Fig. 5. Comparison of wind damages in forests on post-agricultural soils and on forest soils in the sampling area Wielka Komorza.



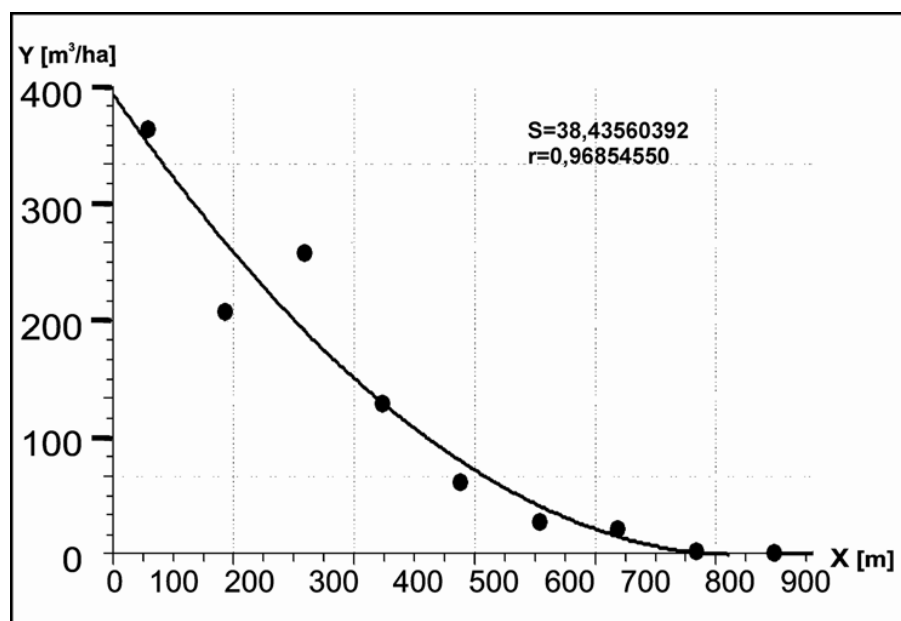
Na całej powierzchni badań w Leśnictwie Komorza w wyniku działania huraganu z 22 czerwca 2000 roku zanotowano trzy szkody powierzchniowe wielkości 0,23 ha, 0,44 ha, 0,53 ha oraz kilkaset pojedynczych złomów i powalów. Łączna ilość drewna pozyskanego z tych szkód wyniosła 4 478,62 m<sup>3</sup>, z tego 3 831,73 m<sup>3</sup> w lasach na glebach porolnych, a 646,89 m<sup>3</sup> na glebach leśnych (Ryc. 5). W przeliczeniu na hektar kategorii lasu straty wynosiły odpowiednio 4,60 m<sup>3</sup>/ha i 0,80 m<sup>3</sup>/ha. Szkody w lasach wtórnych na glebach porolnych stanowiły 85,56% strat a w pozostałych lasach tylko 14,44%. W pozyskanej masie zdecydowanie dominowało drewno sosnowe, które stanowiło 92,64% całości. Drewna bukowego pozyskano 4,48%, olchowego 1,35%, brzoźowego 1,35%, a dębowego tylko 0,17%. Najwięcej szkód, bo 32,76%, wystąpiło na najżyźniejszych siedliskach leśnych, które przylegały do granicy polno-leśnej. Wysoka żyzność siedlisk wskazuje, że były to lasy porolne lub monokultury sosnowe zastępujące uprzednie lasy liściaste. Analizując występowanie szkód względem rozmieszczenia przestrzennego typów siedliskowych lasu stwierdzono, że najwięcej drewna pozyskano z wiatrołomów na siedlisku boru mieszanego świeżego 46,73%, boru świeżego 26,60% i lasu mieszanego świeżego 24,58%.

**Wpływ odległości od granicy polno-leśnej.** Z map opracowanych w technologii GIS oraz sporządzonych histogramów wynika, że większe szkody występują przy granicy polno-leśnej, niż w głębi lasu. Na analizowanym dystansie 860 m od skraju do środka kompleksu leśnego w pierwszych 430 m pozyskano 1 004,92 m<sup>3</sup>/ha drewna pochodzącego z wiatrołomów. W drugiej strefie, czyli w odległości 430-860 m, pozyskanie wyniosło tylko 96,78 m<sup>3</sup>/ha. Analizując strefy buforowe w interwale 10 m stwierdzono, że największe szkody w ilości

103,09 m<sup>3</sup>/ha wystąpiły w odległości 290-300 m. W strefie 140-150 m było ich 65,18 m<sup>3</sup>/ha. Podobny poziom szkód wystąpił w strefach 100-110 m (62,94 m<sup>3</sup>/ha), 0-10 m (57,74 m<sup>3</sup>/ha), 30-40 m (57,39 m<sup>3</sup>/ha) i 160-170 m (52,27 m<sup>3</sup>/ha). W pozostałych strefach buforowych pozyskanie drewna było znacznie niższe. Współczynnik korelacji wyrażający zależność szkód od odległości od granicy polno-leśnej w analizie przeprowadzonej w interwałach 10-cio metrowych uzyskał wartość – 0,6086.

W analizie w interwałach 100 m stwierdzono, że największe szkody, rzędu 373,5 m<sup>3</sup>/ha, wystąpiły w pasie 0-100 m. W strefie 200-300 m oceniono je na 264,06 m<sup>3</sup>/ha, zaś w odległości 100-200 m od skraju lasu na 212,7 m<sup>3</sup>/ha. Stanowiło to odpowiednio 33,98% oraz 24,02% i 19,35% drewna pozyskanego na całej analizowanej powierzchni leśnej. Łącznie w pasie lasu na odległość 300 m od granicy polno-leśnej zanotowano 77,35% szkód. Dla obliczeń wykonanych w interwale przestrzennym 100 m funkcja wyrażająca zależność wielkości szkód od odległości od granicy polno-leśnej miała postać jak na Ryc. 6. Natomiast współczynnik korelacji dla tej zależności uzyskał wartość –0,9259.

**Wpływ wieku drzewostanu na występowanie wiatrołomów.** Z danych zgromadzonych w systemie informacji geograficznej wynika, że na powierzchni badawczej Wielka Komorza największe szkody wywołane niszczycielską siłą wiatru występują w drzewostanach III klasy wieku. Usunięto z nich 1 626,66 m<sup>3</sup> drewna, co stanowiło 36,24% całości strat. W drzewostanach IV klasy wieku szkody były o 2/5 niższe (986,45 m<sup>3</sup>). W stosunku do całej masy usuniętego drewna straty w drzewostanach tej klasy wieku stanowiły 21,98%. Nieco niższe straty, w ilości 899,59 m<sup>3</sup>, tj. 20,04% całości usuniętego drewna, zanotowano w drzewostanach



Ryc. 6. Funkcja wyrażająca zależność pomiędzy wielkością pozyskanego drewna a odległością od granicy polno-leśnej w 100 m interwałach na powierzchni badawczej Wielka Komorza. Oś X – odległość od granicy polno-leśnej, oś Y – objętość pozyskanego drewna w m³/ha.

Fig. 6. A function expressed relationship between volume of the logged timber and distance from the field-forest borderline in 100 m intervals in the sampling area Wielka Komorza. Axis X – distance to edge, axis Y – volume of logged timber in m³/ha.

VI klasy wieku. Ponieważ drzewostany 100-120-letnie zajmowały tylko 119,20 ha, wielkość strat w przeliczeniu na 1 ha w VI klasie wieku była największa i sięgała 7,55 m³/ha. Drzewostany klasy III występowały na powierzchni 402,94 ha a ilość drewna usuniętego z wywrotów i złomów w przeliczeniu na jednostkę powierzchni tej kategorii wiekowej wynosiła 4,04 m³/ha. Drzewostany IV klasy wieku zajmowały największą powierzchnię, bo aż 443,79 ha. Przy ilości usuniętego drewna wynoszącej 986,45 m³ dało to wartość tylko 2,22 m³/ha. Duże straty w przeliczeniu na jednostkę powierzchni wystąpiły w drzewostanach VIII klasy wieku, które zajmowały najmniejszą powierzchnię spośród wszystkich kategorii wiekowych. Ich powierzchnia wynosiła tylko 2,79 ha a wielkość strat 5,10 m³/ha.

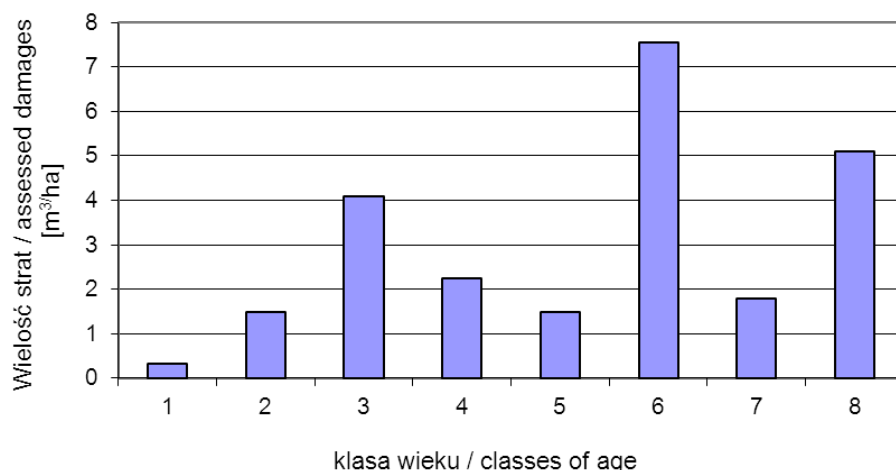
Straty w drzewostanach poszczególnych klas wieku w przeliczeniu na jeden hektar zamieszczono na Ryc. 7.

W powyższych obliczeniach zredukowano wpływ wielkości powierzchni zajmowanej przez drzewostan z poszczególnych klas wieku poprzez wyrażanie wielkości strat w przeliczeniu na 1 ha lasu. Jednakże znaczny wpływ na kształtowanie wielkości strat w poszczegól-

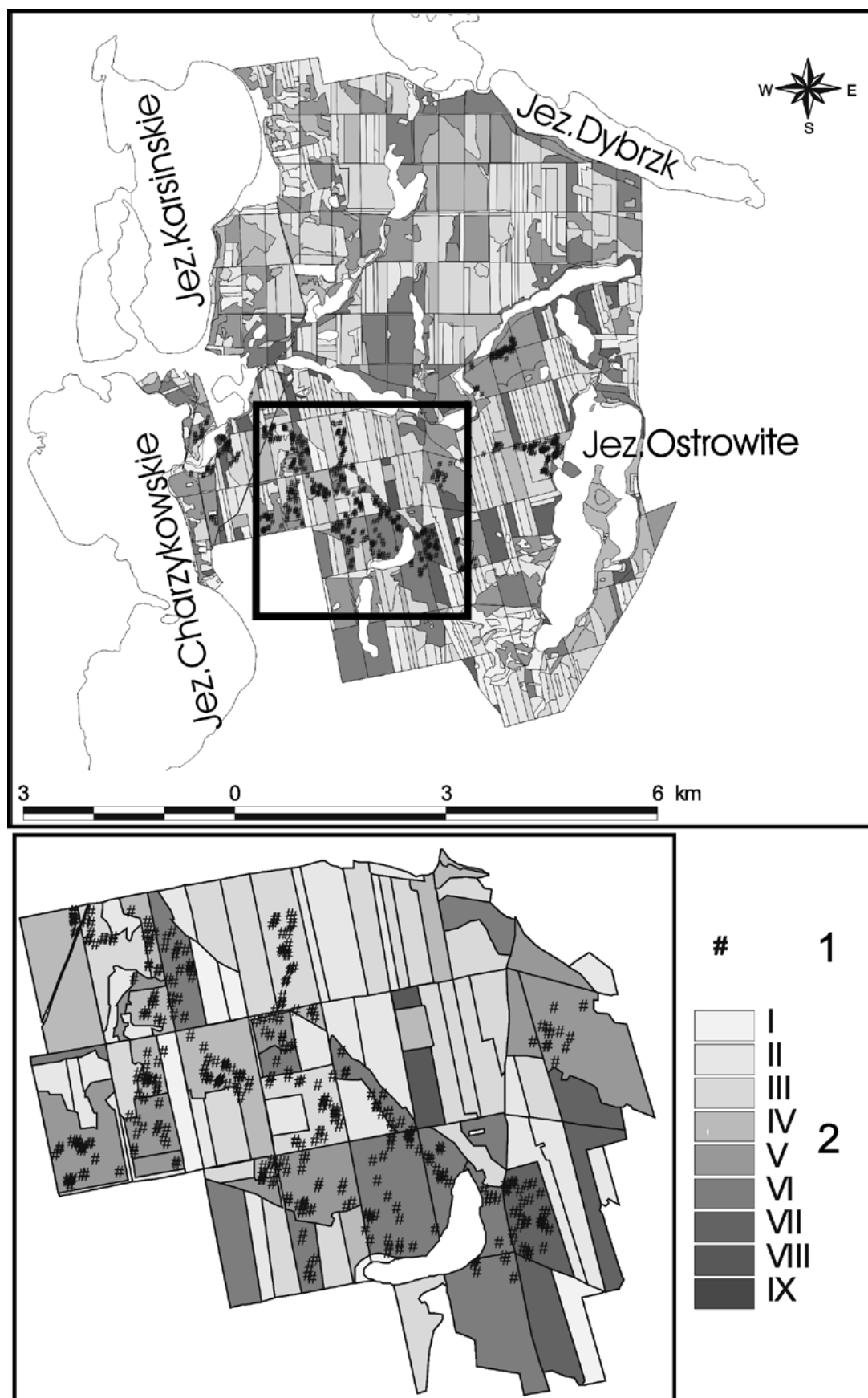
nych przedziałach wiekowych ma rozmieszczenie przestrzenne drzewostanów różnego wieku względem skraju kompleksu leśnego oraz występowania gleb porolnych i leśnych.

**Wpływ dużych zbiorników wodnych.** Wpływ dużych otwartych powierzchni jezior badano głównie na stanowisku 3, tj. w Parku Narodowym „Bory Tucholskie”. Było ono zlokalizowane w pobliżu ciągu dużych jezior Charzykowskiego i Karskiego. Jeziora ciągną się na kierunku północ-południe po zachodniej stronie parku. Na podstawie zgromadzonych danych stwierdzono, że zdecydowana większość szkód wystąpiła po wschodniej stronie jezior. Przy dominujących wiatrach zachodnich drzewostany te są najbardziej narażone na oddziaływanie mas powietrza, uzyskujących znaczną prędkość nad taflą otwartych wód. Po zachodniej stronie jezior szkód spowodowanych przez wiatr nie było.

Na obszarze parku narodowego głównym miejscem występowania złomów i wykrotów były drzewostany po południowej stronie „Strugi Siedmiu Jezior”, a zwłaszcza rosnące w pobliżu jeziora Wielkie Gacno (Ryc. 8).



Ryc. 7. Zależność pomiędzy wiekiem drzewostanów a wielkością szkód na powierzchni badawczej Wielka Komorza. Fig. 7. Relationship between volume of damages and age of treestands in the sampling area Wielka Komorza.



Ryc. 8. Szkody wiatrowe w Parku Narodowym „Bory Tucholskie” (1 – powalone i złamane drzewa, 2 – klasy wieku drzewostanów; Góra – mapa główna; Dół – powiększenie terenu z mapy głównej.

Fig. 8. Wind damages in Tuchola Forest National Park (1 – uprooted and broken trees; 2 – age classes of treestands).



Tę część parku porastają najstarsze drzewostany, brak zaś lasów wtórnie odtworzonych na glebach czasowo użytkowanych rolniczo. Po północnej stronie „Strugi” Siedmiu Jezior powały i złomy zdarzały się znacznie rzadziej, chociaż na podstawie pokrycia terenu odczytanego z mapy Schröttera-Engelhardta z przełomu XVIII i XIX wieku oraz z mapy gospodarczej pruskiego „Königlichen Oberförsterei Chotzenmühl” z 1896 roku, można jednak stwierdzić, że część lasów tego fragmentu parku narodowego została odtworzona w późniejszym okresie na terenach nieleśnych.

Z rozmieszczenia przestrzennego szkód spowodowanych przez silne wiatry, a zaprezentowanego na mapie numerycznej całego Parku Narodowego „Bory Tucholskie” (Ryc. 8, górna mapka) wynika też, że na północ od „Strugi Siedmiu Jezior” powały i złomy zdarzały się znacznie rzadziej, pomimo, że w niewielkiej odległości na zachód od tego terenu występowało duże jezioro Karsieńskie. Na podstawie analizy dolnej mapki zamieszczonej na Ryc. 8 stwierdzić można natomiast, że w Parku Narodowym „Bory Tucholskie”, podobnie jak na stanowisku Wielka Komorza, szkody od wiatru były częstsze i znacznie większe w starszych drzewostanach niż w młodszych.

Powały i złomy wywołują znaczne zmiany w warstwie koron drzew (canopy). W przypadku wykrotów i złomów pojedynczych drzew, jak to ma miejsce w Parku Narodowym „Bory Tucholskie”, przekształcenia struktury tego elementu ekosystemu leśnego są dobrze rozpoznawalne na wysokorozdzielczym zdjęciu satelitarnym IKONOS. Porównanie heterogeniczności powierzchni koron drzew rosnących na obszarze parku o największych szkodach spowodowanych wicherą z drzewostanem niezaburzonym przez czynnik wiatru, bo rosnącym po zachodniej stronie Jeziora Charzykowskiego, przedstawia Ryc. 9. Ubytki w warstwie koron drzew w pierwszym fragmencie lasu są bardzo wyraźne.

**Wpływ rzeźby terenu na rozmieszczenie przestrzenne szkód.** Na stanowisku 2, tj. na obszarze Leśnictwa Okręglik w Nadleśnictwie Czersk, na którym badano wpływ orografii terenu na występowanie i wielkość szkód spowodowanych przez wiatr, stwierdzono występowanie 10 wiatrowałów powierzchniowych. Ich rozmieszczenie zaprezentowano na Ryc. 10. Z numerycznego modelu terenu wynika, że powierzchnie te występują głównie w pobliżu dolin na przedłużeniu rynny jeziora Trzemeszno. Nie zajmują one jednak miejsc najniższej położonych. W ich lokalizacji ujawnia się bardziej wpływ ogólnie dominującego zachodniego kierunku wiatru niż możliwość przesuwania się rozpylonych mas powietrza wzdłuż dolin jeziornych. Większość powałów powierzchniowych rozmieszczona jest bowiem niemal w linii prostej E-W po wschodniej stronie jeziora Trzemeszno (Ryc. 10).

**Wpływ zmiany rzeźby terenu spowodowanej pracami inżynierskimi.** Negatywny wpływ zmian konfiguracji terenu, towarzyszących przebudowie ukła-

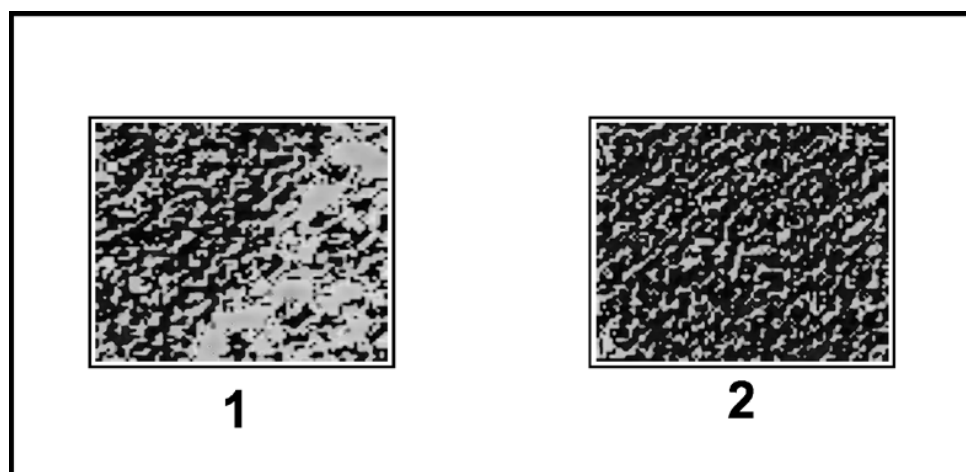
du komunikacyjnego, na drzewostany sąsiadujące z rejonem robót drogowych zaznaczył się bardzo wyraźnie we wschodniej i południowej części Torunia. Powal lasu, spowodowany wicherą z 17 lipca 2001 r. w pobliżu skrzyżowania szosy nr 10 z odcinkiem autostrady A1, wystąpił na powierzchni 2,43 ha. Wpływ prowadzonych inwestycji drogowych był niewątpliwy. Szosa nr 10 była tu poszerzana, co spowodowało dalsze odsłonięcie terenu. Z mapy wynika, że przy północnym kierunku wiatru katastrofa ekologiczna miała miejsce na granicy terenu otwartego i leśnego. Efekt działania wiatru został wzmożony obecnością szkółki leśnej w pobliżu miejsca katastrofy.

Dwa wiatrolomy powierzchniowe (2,69 ha i 5,04 ha), które w tym samym czasie wystąpiły na lewym brzegu Wisły w pobliżu Czerniewic, związane były bezpośrednio z budową skrzyżowania szosy nr 91 z odcinkiem autostrady A1. Jedną z powierzchni dotkniętych wiatrolodem była największym obszarem klęski ekologicznej w całym Nadleśnictwie Gniewkowo.

## Dyskusja i wnioski

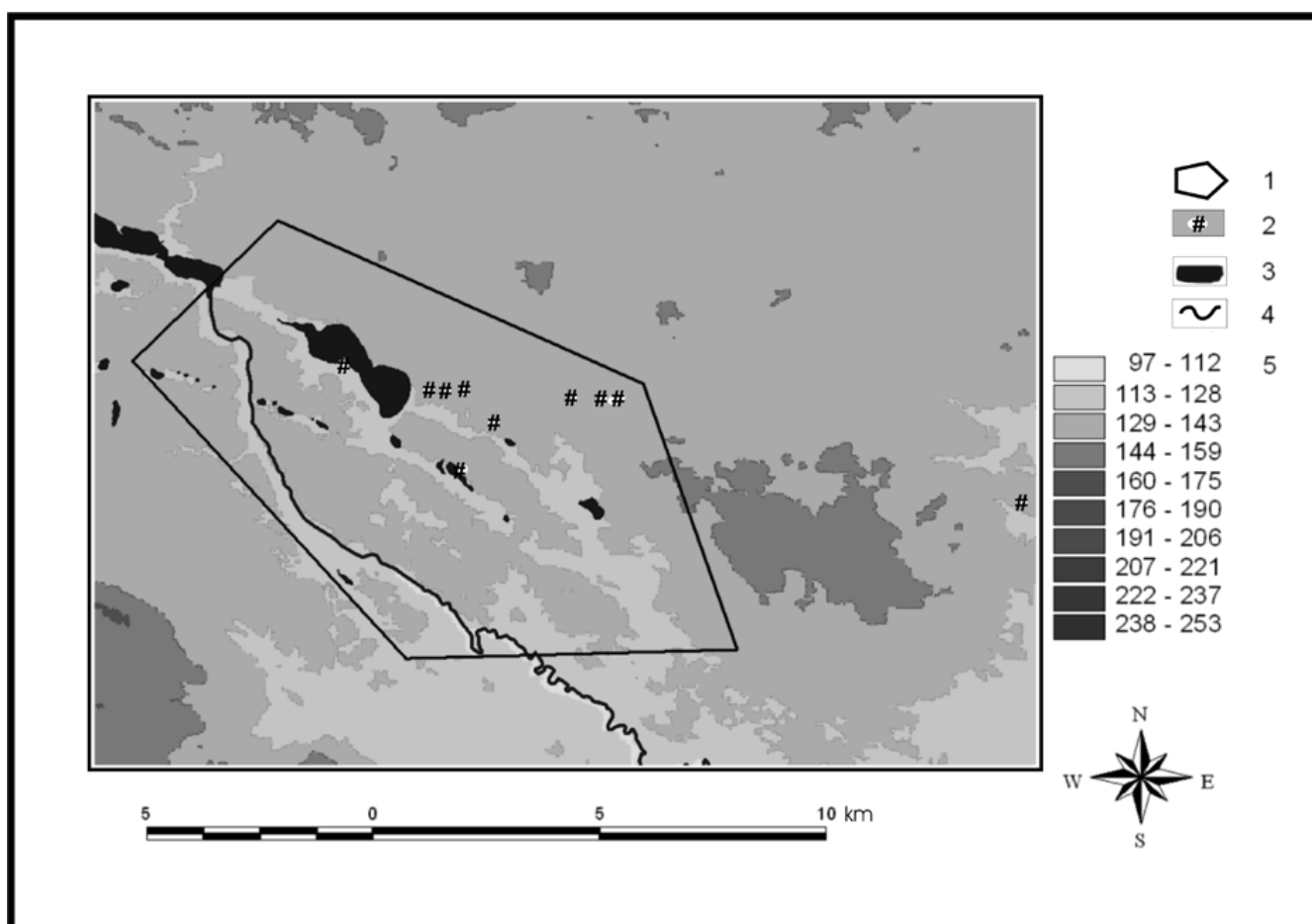
Z literatury ekologicznej wynika, że w ostatnim trzydziestolecu intensywne badania nad szkodami wiatrowymi prowadzono niemal na wszystkich kontynentach. Szkody te były rozpatrywane zarówno jako następstwa zmian globalnych klimatu jak też, jako przyczyny wzrostu CO<sub>2</sub> w atmosferze, będącego następstwem zmniejszenia się powierzchni leśnej. W wielu badaniach tego typu stosowane były metody teledetekcji i technologia GIS, w tym również programy komputerowe użyte w niniejszej pracy (np. Foster i Goose 1992, Wright i Quine 1993, Quine i Bell 1998, Lekes i Daudul 2000, Mitchell i in. 2001.).

Przy pomocy tych metod porównywano częstość wiatrolomów i szkód od wiatru w lasach o różnej historii, zarówno naturalnych jak i w plantacjach leśnych (Quine i in. 1999). Badano też szereg różnorodnych właściwości zbiorowisk leśnych, które wpływają na strukturę przestrzenną i wielkość szkód, jak skład gatunkowy drzewostanu, architektura koron, wysokość i pierśnica drzew (Peltola i in. 2000, Wilson i Oliver 2000) i cech stanowiska, z których najważniejsze to elewacja i ekspozycja (Peterson i Pickett 1990, Zajackowski 1991). Kompleksowa analiza czynników wpływających na wielkość i rozmieszczenie szkód była prezentowana w licznych artykułach naukowych (Mayer 1989, Whigham i in. 1999, Peterson 2000, Ni Dhubhain i in. 2001) i specjalnych publikacjach (np. Coutts i Grace, red. 1995). Spośród różnorodnych czynników, bliskość skraju lasu jako jedną z głównych przyczyn wpływających na rozmieszczenie przestrzenne i wielkość szkód podali Kellomäki i Peltola (1999). Na istotność tego czynnika zwracali też uwagę Campbell (1998), Hassinen i in. (1998), Ruel i in. (1998) oraz Gardiner i in. (2000). W naszej pracy wykazaliśmy, że większe szkody powstają bliżej skraju lasu. Podobną zależność podali Laurance i in. (1998) dla lasów strefy



Ryc. 9. Heterogeniczność powierzchni koron w drzewostanie z powalami i złomami i w drzewostanie bez zaburzeń (1 – Park Narodowy „Bory Tucholskie”, wschodni brzeg Jeziora Charzykowskiego, 2 – poza obszarem parku narodowego, zachodni brzeg jeziora Charzykowskiego). Zdjęcie satelitarne Ikonos z 4 sierpnia 2003 r.

Fig. 9. Heterogeneity of tree crowns surface in treestand with uprooted and broken trees and in treestand without disturbances (1 – in Tuchola Forest National Park, eastern bank of Lake Charzykowskie, 2 – outside national park, western bank of lake Charzykowskie). Satellite image Ikonos on 4th August 2003.



Ryc. 10. Cyfrowy model wysokości terenu oraz wylesienia powierzchniowe w Leśnictwie Okręglik (1 – strefa potencjalnego występowania szkód wiatrowych, 2 – szkody powierzchniowe, 3 – jeziora, 4 – rzeki 5 – wysokość w metrach n.p.m.).

Fig. 10. Digital Elevation Model and surface of tree throws in Okręglik Forestry (1 – potential wind damages zone, 2 – surface of tree throws and wind damages, 3 – lakes, 4 – rivers, 5 – altitude in meters above sea level).

tropikalnej. Oprócz granicy polno-leśnej efekt skraju może wystąpić też na powierzchniach zrębowych zlokalizowanych wewnątrz kompleksów leśnych, na co zwracało uwagę wielu badaczy. W analizowanym Leśnictwie Komorza wielkość strat zwiększyła też zapewne obecność trasy komunikacyjnej przecinającej kompleks leśny. Na znaczenie tego elementu krajobrazu w lokalizacji szkód wskazywał Ruel (2000).

Wpływ na rozmieszczenie przestrzenne szkód wiatrowych w Borach Tucholskich miała historia użytkowania terenu. Wiele wtórnych lasów w tym regionie występuje na słabych glebach piaszczystych. Po ich degradacji i odlogowaniu rozwija się na nich bór suchy lub bór wrzosowy. Takie lasy zajmują małe powierzchnie wśród dużych połaci lasów, które zawsze występowały na glebach leśnych. Wskaźnik NDVI takich wtórnych lasów jest najczęściej niższy. Ich biomasa zielona jest bowiem mniejsza niż borów świeżych na glebach leśnych, których rozwój nie był zaburzony czasowym użytkowaniem rolniczym. Inaczej sytuacja wygląda w lasach sąsiadujących z dużymi powierzchniami terenów rolniczych, co ma miejsce w badanym fragmencie regionu w okolicach Tucholi i Wielkiej Komorzy. Tu gleby rolnicze są żyzne, podobnie jak i gleby porolne, na których las został odtworzony. Biomasa zielona tych lasów jest wyższa niż plantacji sosnowych na glebach leśnych na siedlisku boru świeżego. Wysoką wartość osiąga również NDVI lasów wtórnych.

Przy dużych powierzchniach rolniczych lasy porolne najczęściej graniczą bezpośrednio z polami uprawnymi lub łąkami. Duża zawartość pierwiastków w glebie powoduje, że tempo wzrostu drzew jest wysokie. Ich biomasa nadziemna jest duża, przez co zachwiany zostaje stosunek części nadziemnych do podziemnych. System korzeniowy nie wytrzymuje dużego obciążenia i przy silniejszych podmuchach wiatru następują wywroty lub drzewa się łamią. Małą odporność na działanie wiatru pogłębia aktywność patogenów, grzybów i owadów, przy której tkanki pnia wykazują obniżoną twardość i sprężystość. Te właśnie czynniki spowodowały, że przy granicy polno-leśnej w Leśnictwie Komorza szkody od wiatru były największe.

Do analizy przestrzennej powalów zastosowano metody teledetekcji satelitarnej, które dziś są podstawowym narzędziem do monitorowania stanu lasu (Kennedy 1997). Zastosowane w pracy zdjęcie Landsat 7ETM+ okazało się przydatne do rozpoznawania lasów rosnących na glebach porolnych, zazwyczaj uboższych lub żyzniejszych niż gleby występujące w borach sosnowych świeżych, czyli w zbiorowiskach roślinnych, jakie dominują na badanym terenie. Rozdzielczość terenowa skanera tego satelity pozwala też rozpoznać większe powierzchnie powalonego lasu. Dla lokalizacji mniejszych powierzchni leśnych z udziałem wykrotów i złomów wymagana jest większa rozdzielczość. Wskazują na to obserwacje przeprowadzone przez Ustin i in. (1999), który badał zmiany w obrębie warstwy koron wskutek wypadnięcia pojedynczych drzew przy zastosowaniu zdjęć o rozdzielczości 4 m. Warunek ten spełniać więc

mogą zdjęcia satelity IKONOS, które są ostatnio coraz częściej stosowane do analizy zmian w strukturze „canopy” (Tanaka i Sugimura 2001, Oudemans i in. 2002). Przydatność zdjęć wykonanych przez tego satelitę do analizy zmian strukturalnych w warstwie koron wskutek wypadania z drzewostanu pod naporem wiatru pojedynczych drzew potwierdzono również w niniejszej pracy.

Odrębnym zagadnieniem, dość rzadko badanym w aspekcie szkód wywołanych w lasach przez huraganowe wiatry, jest zmiana struktury krajobrazu. Może być ona następstwem zwiększania się liczby kategorii płatów roślinnych (patches), co z kolei zwiększa mozaikowość (pattern) w strukturze fizjocenozy. Zmiany te można wyrazić za pomocą szeregu wskaźników ilości, kształtu i jakości poszczególnych płatów. Wskaźniki oblicza się za pomocą programów komputerowych jak GRASS, FRAGSTATS. W ostatnich latach w literaturze ekologicznej, a zwłaszcza z zakresu ekologii krajobrazu, pojawiło się wiele artykułów dotyczących oceny mozaikowości oraz wpływu „pattern” krajobrazu na strukturę i funkcjonowanie populacji roślin i zwierząt. Interesującym zagadnieniem jest określenie roli wiatrołomów w procesach przemian takich struktur ekologicznych.

Zagadnieniem, które też warto poruszyć, jest stosowanie opracowanego GIS w przyszłych badaniach roślinności Pomorza i Kujaw. Naszym zamiarem jest stosowanie tego systemu w ciągłym monitoringu szaty roślinnej tego obszaru. Z tego względu istnieje potrzeba powiązania go z innymi bazami danych (np. ATPOL, TurboVeg), zawierającymi informację o tym podstawowym elemencie środowiska przyrodniczego. W ramach tak rozbudowanego systemu możliwym będzie połączenie informacji fitosocjologicznej pozyskanej w miejscach występowania szkód spowodowanych przez huragany z innymi danymi o roślinności. Pozwoli też na stosowanie w szerokim zakresie specjalistycznego oprogramowania z zakresu statystyki i taksonomii numerycznej.

## Podziękowania

Praca została wykonana w ramach grantu KBN 6 P06L 044 21 na lata 2001-2004. Autorzy opracowania dziękują nadleśnictwom z RDLP Gdańsk, Szczecinek i Toruń za udostępnienie danych dotyczących szkód powodowanych działaniem wiatru oraz za okazaną pomoc w czasie wykonywania badań terenowych.

## Literatura

- ASTER G. P., PALACE M., KELLER M., PEREIRA R. jr., SILVA J. N. M., ZWEEDE J. C., 2002. *Estimating canopy structure in an Amazon forest from laser range finder and IKONOS satellite observations*. Biotropica, 34, SS. 483-492.
- BOINSKI M., 1999. *Podstawy geobotanicznej delimitacji Rezerwatu Biosfery „Bory Tucholskie”*. W: A. Barcikowski, M. Boinski i A. Nienartowicz (red.), Wielofunkcyjna rola lasu. Ochrona przyrody – Gospodarka – Edukacja. O.W. „Turpress”, Toruń, ss. 19-40.



- BOINSKI M., 2002. *Roślinność leśna Tucholskiego Parku Krajobrazowego*. W: M. Ławrynowicz, B. Rózga (red.), *Tucholski Park Krajobrazowy 1985-2000*, Stan wiedzy. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, ss. 245-355.
- BRAUN S., SCHINDLER CH., VOLZ R., FLÜCKIGER W., 2003. *Forest damages by the storm 'Lothar' in permanent observation plots in Switzerland: The significance of soil acidification and nitrogen deposition*. Water, Air & Soil Pollution, 142, ss. 327-340.
- CAMPBELL D. J., 1998. Salt-wind induced wave regeneration in coastal pine forests in New Zealand. *Canadian Journal of Forest Research*, 28, ss. 953-960.
- CLARKE R., 2001. *Lothar and Martin*. WMO Bulletin, 50, ss. 54-59.
- COUTTS M. P., GRACE J. (eds.), 1995. *Wind and Trees*. Cambridge University Press, Cambridge.
- FOSTER D. R., BOOSE E. R., 1992. *Patterns of forest damage resulting from catastrophic wind in central New England, USA*. *Journal of Ecology*, 80, ss. 79-98.
- FRANKLIN S. E., WULDER M. A., GERYLO G. R., 2001. *Texture analysis of IKONOS panchromatic data for Douglas-fir forest age class separability in British Columbia*. *International Journal of Remote Sensing*, 22, ss. 2627-2632.
- GARDINER B., PELTOLA H., KELLOMÄKI S., 2000. *Comparison of two models for predicting the critical wind speeds required to damage coniferous trees*. *Ecological Modelling*, 129, ss. 1-23.
- GORZELAK A., 1999. *Zalesianie terenów porolnych*. Instytut Badawczy Leśnictwa. Warszawa.
- HASSINEN A., LEMETTINEN M., PELTOLA H., KELLOMÄKI S., GARDINER B., 1998. *A prism-based system for monitoring the swaying of trees under wind loading*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 90, ss. 187-194.
- HOSZOWSKI S. (red.), 1961. *Lustracja województwa pomorskiego 1565*. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk.
- KELLOMÄKI S., PELTOLA H., 1999. *Silvicultural strategies in forest management to optimize yield and growth in boreal forests while minimizing the risks of wind and snow damage*. W: C.A. Brebbia & J.L. Usó (eds.), *Ecosystems and Sustainable Development*. Advances in Ecological Sciences – Volume 2. WIT Press, Joensuu, ss. 285-303.
- KENNEDY P. (ed.), 1997. *Application of Remote Sensing in European Forest Monitoring*. European Commission, Luxembourg.
- KONDRACKI J., 1980. *Geografia fizyczna Polski*. PWN, Warszawa.
- KUNZ M., NIENARTOWICZ A., DEPTUŁA M., 2000. *The use of satellite remote sensing imagery for detection of secondary forests on post-agricultural silos: A case study of Tuchola Forest, Northern Poland*. W: J. L., Casanova (ed.) *Remote Sensing in the 21st Century*. Economic and Environmental Applications. Proceedings of the 19th EARSeL Symposium, Valladolid, Spain, 31 May – 2 June 1999, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 2000, ss. 61-66.
- LAURANCE W. F., FERREIRA L. V., RANKIN DE-MERONA J. M., LAURANCE S. G., 1998. *Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities*. *Ecology*, 79, ss. 2032-2040.
- LEKES V., DANDUL I., 2000. *Using airflow modeling and spatial analysis for defining wind damage risk classification (WINDARC)*. *Forest Ecology and Management*, 135, ss. 331-344.
- LINDEMANN J. D., BAKER W. L., 2001. *Attributes of blow-down patches from a severe wind event in the southern Rocky Mountains*. USA.
- MAYER H., 1989. *Windthrow*. *Philosophical Transactions of The Royal Society B*, 324, ss. 267-281.
- MAYER H., SCHINDLER D., 2002. *Forstmeteorologische Grundlagen zur Auslösung von Sturmschäden im Wald in Zusammenhang mit dem Orkan „Lothar“*. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, ss. 173: 200-208.
- MITCHELL S. J., 1995. *The windthrow triangle: A relative windthrow hazard assessment procedure for forest managers*. *The Forestry Chronicle*, 71, ss. 446-450.
- MITCHELL S. J., 1998. *A diagnostic framework for windthrow risk estimation*. *The Forestry Chronicle*, 74, ss. 100-105.
- MITCHELL S. J., HAILEMARIAM T., KULIS Y., 2001. *Empirical modeling of cutblock edge windthrow risk on Vancouver Island, Canada, using stand level information*. *Forest Ecology and Management*, 154, 1-2, ss. 117-130.
- NI DHUBHAIN A., WALSHE J., BULFIN M., KEANE M., MILLS P., 2001. *The initial development of a windthrow risk model for Sitka spruce in Ireland*. *Forestry*, 74, ss. 161-170.
- NIENARTOWICZ A., KUNZ M., DOMIN D. J., DEPTUŁA M., 2002. *Ecological consequences of changes in landscape structure in the neighbourhood of Brusy in 19th and 20th century*. *Ecological Questions*, 1, ss. 117-135.
- OUDEMANS P. V., POZDNYAKOVA L., HUGHES M. G., RAHMAN F., 2002. *GIS and Remote Sensing for detecting yield loss in cranberry culture*. *Journal of Nematology*, 34, ss. 207-212.
- PEARCE R., LLOYD D., MCCONNELL D., 2001. *The post-Christmas 'French' storms of 1999*. *Weather*, 56, ss. 81-91.
- PELTOLA H., KELLOMÄKI S., HASSINEN A., GRANANDER M., 2000. *Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland*. *Forest Ecology and Management*, 135, ss. 143-153.
- PETERSON CH. J., 2000. *Catastrophic wind damage to North American forests and the potential impact of climate change*. *Science of the Total Environment*, 262, ss. 287-311.
- PETERSON CH. J., PICKETT S. T. A., 1990. *Microsite and elevational influences on early forest regeneration after catastrophic windthrow*. *Journal of Vegetation Science*, 1, ss. 657-662.
- QUINE C. P., BELL P. D., 1998. *Monitoring of windthrow occurrence and progression in spruce forests in Britain*. *Forestry*, 71, ss. 87-97.
- QUINE C. P., HUMPHREY J. W., FERRIS R., 1999. *Should the wind disturbance patterns observed in natural forests be mimicked in planted forest in the British uplands?* *Forestry*, 72, ss. 337-358.
- RUEL J.-C., 2000. *Factors influencing windthrow in balsam fir forests: from landscape studies to individual tree studies*. *Forest Ecology and Management*, 135, ss. 169-178.
- RUEL J.-C., PIN D., COOPER K., 1998. *Effect of topography on wind behaviour in a complex terrain*. *Forestry*, 71, ss. 261-265.
- TANAKA S., SUGIMURA T., 2001. *A new frontier of remote sensing from IKONOS images*. *International Journal of Remote Sensing*, 22, ss. 1-5.
- TRAMPLER T., KLICKOWSKA A., DMYTERKO E., SIERPIŃSKA A., 1990. *Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-topograficznych*. PWRiL, Warszawa.
- ULBRICH U., FINK A. H., KŁAWA M., PINTO J. G., 2001. *Three extreme storms over Europe in December 1999*. *Weather*, 56, ss. 70-80.
- USTIN S. L., SMITH M. O., JACKUEMOUD S., VERSTRAETE M., GOVAERTS Y., 1999. *Geobotany: Vegetation Mapping for Earth Sciences*. W: *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing*, 3rd ed., Vol. 3, New York, John Wiley & Sons, ss. 189-248.
- WHIGHAM D. F., DICKINSON M. B., BROKAW N. V. L., 1999. *Background canopy gap and catastrophic wind disturbances in tropical forests*. W: L. R. Walker (ed.) *Ecosys-*

tems of the World, 16, Ecosystems of Disturbed Ground. Elsevier, Amsterdam – Lausanne – New York – Oxford – Shannon – Singapore – Tokyo, ss. 223-252.

WESP U., 2000. *Die Wahrheit über Lothar (die Weihnachtsorkan 1999)*. <http://www.de-badner.de/lothar.htm>

WILSON J. S., OLIVER C. D., 2000. *Stability and density management in Douglas-fir plantations*. *Canadian Journal of Forest. Research*, 30, ss. 910-920.

WRIGHT J. A., QUINE C. P., 1993. *The use of a geographical information system to investigate storm damage to trees at Wykeham forest North Yorkshire*. *Scotish Forestry*, 47, ss. 166-174.

ZAJĄCZKOWSKI J., 1991 *Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu*. Wyd. Świat, Warszawa.



**Prof. dr hab. Andrzej Nienartowicz**, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Katedra Geobotaniki i Planowania Krajobrazu. Wykłada m.in. przedmioty: GIS i teledetekcja, taksonomia numeryczna, energetyka ekologiczna. Głównie zainteresowania badawcze to: energetyka dużych systemów ekologicznych, ekorozwój i systemy informacji geograficznej; 87-100 Toruń, ul. Lwowska 1; e-mail: anienart@umk.pl, tel. 56 611-4598



**Dr Grzegorz J. Koziński**, absolwent Geografii UJ w Krakowie (Zakład GIS), obecnie asystent w Katedrze Geomatyki i Kartografii, WNoZ, UMK Toruń. Jest doktorem nauk biologicznych (Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, UMK Toruń), zajmuje się zastosowaniem GIS w ochronie środowiska, teledetekcją, implementacją środowiskowej dyrektywy UE INSPIRE w Polsce, GMES, oraz budowaniem baz danych. Dane adresowe: Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geomatyki i Kartografii, 87-100 Toruń, ul. Lwowska 1, e-mail: comarek@umk.pl, tel: 56 611-2565